

Alma Mater Studiorum – Università di Bologna

**DOTTORATO DI RICERCA IN
SCIENZE CHIRURGICHE**

Ciclo XXXII

Settore Concorsuale: 06E2

Settore Scientifico Disciplinare: MED/19 CHIRURGIA PLASTICA

**TITOLO TESI
INNESTO OSSEO SECONDARIO AL PROCESSO
ALVEOLARE: VALUTAZIONE DEGLI
OUTCOMES CHIRURGICI CON L'UTILIZZO
DELLA TC CONE-BEAM E DEL 3D MODELING**

Presentata da: Dr. Erich Fabbri

Coordinatore Dottorato

Prof. Dott. Annalisa Patrizi

Supervisore

Prof. Dott. Paolo G. Morselli

Co-Supervisore

Prof. Dott. Annalisa Patrizi

Esame finale anno 2020

INDICE

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUZIONE | 4 |
| 2. MATERIALI E METODI | 9 |
| 2.1. POPOLAZIONE DELLO STUDIO | 9 |
| 2.2. STUDIO VOLUMETRICO PRE OPERATORIO | 10 |
| 2.3. PROCEDURA INTRAOPERATORIA | 13 |
| 2.4. VALUTAZIONE DIGITALE POST OPERATORIA | 17 |
| 3. RISULTATI | 19 |
| 4. DISCUSSIONE | 23 |
| 5. CONCLUSIONE | 26 |
| 6. BIBLIOGRAFIA | 27 |

1. INTRODUZIONE

Per schisi al processo alveolare, s'intende lo spazio che si trova tra i segmenti dell'osso mascellare superiore, al davanti del forame incisivo e, per questo, comporta una discontinuità dell'arcata dento-scheletrica¹. La schisi del processo alveolare è presente nel 75% dei pazienti affetti da una forma di labiopalatoschisi².

L'innesto osseo che può essere eseguito nei pazienti che presentano una schisi al processo alveolare può essere diviso in due gruppi principali: innesto primario e secondario.

L'innesto primario è eseguito in pazienti con un'età inferiore a due anni.

L'innesto secondario, invece, è ulteriormente suddiviso in precoce, intermedio e tardivo. L'innesto osseo secondario precoce è eseguito a un'età compresa tra i 2 e i 5 anni o, comunque, durante la dentizione decidua. L'innesto osseo secondario intermedio è eseguito a un'età compresa tra i 5 e i 12, durante la fase di dentizione mista. Infine, l'innesto osseo secondario tardivo è eseguito quando il paziente presenta una dentizione permanente, in tarda adolescenza o in età adulta¹.

L'innesto osseo primario non è, oggi, una pratica molto diffusa, a causa degli esiti negativi che sono stati riportati a carico dello sviluppo del terzo medio del volto, con un'elevata incidenza di malocclusione dento-scheletrica, e un'integrazione dell'osso innestato non ottimale, che comporterebbe spesso la necessità di una seconda procedura chirurgica³⁻⁵.

Anche l'innesto osseo secondario precoce non ha avuto un'ampia diffusione, perché sembrerebbe compromettere lo sviluppo delle strutture del terzo medio del volto, così come l'innesto primario⁴. Per quanto riguarda l'innesto osseo secondario tardivo, invece, si è visto che potrebbe mettere a rischio la vitalità del dente adiacente alla schisi a causa della scarsa quantità di osso per il suo supporto, inoltre il contatto diretto dell'osso innestato sulla superficie della radice dentale, esposta durante la procedura chirurgica, potrebbe comportare un progressivo riassorbimento della radice stessa⁶.

Il momento ideale per l'esecuzione dell'innesto osseo al processo alveolare dipende, quindi, più dalla fase di sviluppo dei denti che dall'età anagrafica del paziente. Eseguire la procedura durante la dentizione decidua o quella permanente comporta rispettivamente dei rischi per lo sviluppo del mascellare o per il supporto degli elementi dentari adiacenti alla schisi. Il momento migliore per eseguire la procedura è quindi quello che minimizza questi rischi e sembrerebbe durante la dentizione

mista. A far da guida nella scelta è la fase di maturazione della radice del canino, che deve essere completata, nella sua formazione, in una percentuale compresa tra il 50% e il 75%. Numerosi studi hanno, infatti, dimostrato una maggiore percentuale di successo della procedura quando è eseguita prima della completa eruzione del canino².

Dai lavori pubblicati da Boyne e Sands, a partire dal 1972⁷⁻⁸, dove era introdotto l'innesto osseo secondario mediante l'utilizzo di osso spongioso prelevato dalla cresta iliaca, questa procedura è diventata il metodo di scelta per il riparo della schisi al processo alveolare nella maggior parte dei centri che si occupano di questa patologia. Molti lavori sono stati in seguito pubblicati a testimoniarne la validità⁹⁻¹⁵.

Il riparo della schisi al processo alveolare ha come obiettivo quello di:

- ricostituire la continuità dell'arco mascellare e dargli stabilità, soprattutto nelle forme bilaterali (questo per permettere la mobilizzazione del mascellare come unico segmento in caso di chirurgia ortognatica);
- consentire l'eruzione del canino e garantire il supporto osseo per gli elementi dentari adiacenti alla schisi (incisivo laterale, se presente, e canino);
- completare il trattamento ortodontico;
- fornire una quantità adeguata di osso per consentire il posizionamento di un impianto;
- eliminare eventuali fistole oronasali e recessi mucosi, per impedire possibili rigurgiti nasali o ristagno di cibi, migliorando così anche l'igiene orale grazie alla separazione delle cavità nasale da quella orale;
- dare supporto all'ala nasale riducendo l'asimmetria nasale e regolarizzando il profilo dell'unità anatomica naso-labiale.^{1;3-4;7;9-10}

Nonostante sia ormai considerata la procedura "gold standard", il risultato dell'innesto osseo secondario, in dentizione mista, non sempre è soddisfacente. In letteratura per valutarne l'efficacia è ancora oggi utilizzata, prevalentemente, la scala di Bergland; sono riportati dei tassi di successo variabili dal 67% al 95%^{6;16-18}. Questa discreta variabilità è dovuta a numerosi fattori. Abbiamo già accennato alla fase di sviluppo dei denti al momento dell'innesto: numerosi lavori indicano risultati migliori se l'innesto è eseguito prima dell'eruzione del canino^{2;9;18}. Altre variabili considerate in letteratura sono l'età del paziente^{9;20} e l'entità della schisi¹⁹⁻²⁰, oltre a parametri legati alla procedura chirurgica, come la scelta del sito donatore e il tipo di tecnica utilizzata per allestire i lembi a livello della tasca nel sito ricevente. Anche

L'esecuzione di un trattamento ortodontico sembra influenzare il risultato, sia quello preparatorio, svolto per consentire al chirurgo un miglior accesso per l'inserimento dell'innesto e favorire la chiusura dei tessuti molli (mediante l'allineamento dei segmenti del mascellare o l'estrazione di elementi soprannumerari che occupano spazio nella schisi), sia quello postoperatorio, per completare l'allineamento degli elementi dentari.

La mancanza di una vera standardizzazione della procedura porta, inevitabilmente, a risultati disomogenei e difficilmente sovrapponibili.

Negli studi clinici più recenti, si è aggiunta un'altra fonte di variabilità associata alla valutazione volumetrica dell'osso innestato: in molti centri, infatti, si è passati da una valutazione esclusivamente bidimensionale attraverso metodiche d'imaging tradizionali come l'ortopantomografia, alla misurazione del volume della schisi in centimetri cubi grazie all'introduzione della Tomografia Computerizzata Cone-Beam 3D (TCCB).

La scala di Bergland¹⁰ si basa sull'analisi dell'altezza del setto interdentale, riferendosi in particolare alla presenza di un ponte osseo a livello della giunzione amelo-cementizia (GAC). È basata, appunto, sulle metodiche di "imaging" bidimensionali tradizionali come l'ortopantomografia (OPT) o le radiografie endorali. È una valutazione semi-quantitativa, perché a causa della continua variazione della posizione dei denti non possono essere presi come riferimento dei punti fissi riproducibili. In base all'altezza dell'osso a livello del setto interdentale, partendo dalla giunzione amelo-cementizia, sono definiti quattro gruppi:

- Tipo 1: il setto interdentale presenta un'altezza pressoché normale, in quanto raggiunge la GAC;
- Tipo 2: il setto interdentale presenta un'altezza pari almeno ai $\frac{3}{4}$ del normale;
- Tipo 3: l'altezza del setto è inferiore ai $\frac{3}{4}$ del normale
- Tipo 4: non è presente alcun ponte osseo.

In genere risultati riconducibili ai tipi 1 e 2 secondo Bergland sono considerati dei successi.

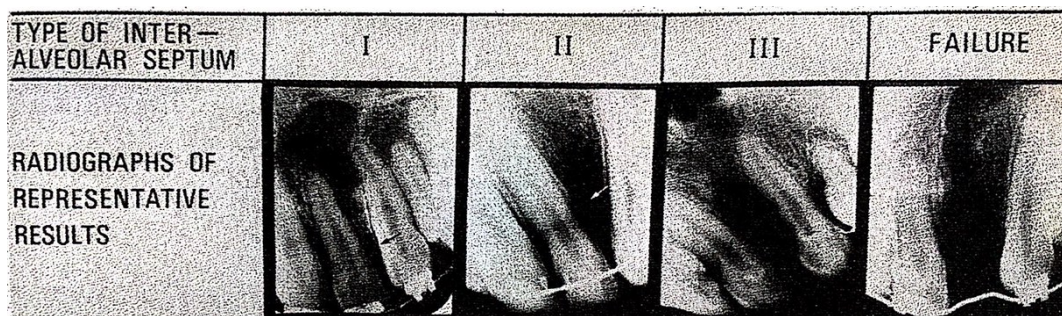


Figura 1: Classificazione di Bergland¹⁰

La scala di Bergland può essere criticata per il fatto che l'analisi del setto interdentale viene eseguita riferendosi alla presenza del ponte osseo a livello della giunzione amelo-cementizia, senza andare a misurare nel complesso l'altezza reale del setto. In questo modo, infatti, un paziente che presenta osso a livello della giunzione amelo-cementizia è classificato nel tipo 1, anche se l'altezza del suo setto non raggiunge un livello basale adeguato, pari cioè all'apice della radice dei denti adiacenti e l'altezza complessiva del suo setto interdentale potrebbe essere anche inferiore al 75% del normale; se il risultato venisse quindi valutato considerando l'altezza complessiva, questo stesso paziente non sarebbe più un tipo 1 secondo Bergland, ma un tipo 3 e l'intervento sarebbe considerato un insuccesso. Hynes nel 2003 ha rivalutato i risultati dell'innesto osseo, tenendo presente proprio queste considerazioni sull'altezza complessiva del setto interdentale ed ha riportato un incremento del numero di pazienti di tipo 3 e 4 dal 16% (secondo la scala di Bergland tradizionale) al 24%²¹.

Le metodiche radiologiche convenzionali presentano molti fattori limitanti. Si possono verificare, ad esempio, fenomeni di distorsione o ingrandimento delle immagini o anche sovrapposizione di strutture vicine in base alla prospettiva di acquisizione dell'immagine stessa. Oltre a questo si possono riscontrare problemi per la posizione del paziente e, in genere, consentono l'identificazione di un numero limitato di punti fissi di riferimento²².

Questi limiti si trasmettono anche a una metodica di valutazione, come quella di Bergland, che si basa sull'imaging convenzionale.

Diversi studi che si sono basati su un'analisi tridimensionale, come quella che può essere eseguita con la TC, hanno dimostrato come il riassorbimento osseo sia in realtà significativamente più alto (circa un 20%) rispetto a quanto riportato da lavori che eseguono un'analisi con le sole metodiche di imaging bidimensionale²³⁻²⁴. Questo porterebbe a riclassificare una parte degli innesti in categorie più basse,

incrementando la percentuale d'insuccessi. Oltre a questo, bisogna tener presente che l'analisi del risultato attraverso la scala bidimensionale è basata sulla valutazione della sola dimensione verticale (l'altezza del setto interdentale), in base alla quale è poi calcolato il riassorbimento complessivo dell'osso. Alcuni lavori scientifici hanno dimostrato, grazie all'analisi tridimensionale, che il riassorbimento osseo occorre anche nella dimensione orizzontale o bucco-palatale e in misura pressoché equivalente alla dimensione verticale^{19;25}. In previsione di una terapia ortodontica, per favorire l'eruzione del canino, o in caso sia necessario l'inserimento di un impianto dentario appare fondamentale una conoscenza anche della profondità del ponte osseo ricreato con l'innesto.

Negli ultimi decenni sia i software di 3D modelling sia gli strumenti di stampa 3D hanno conosciuto una rapida evoluzione e sono stati applicati al campo medico, dimostrando di poter portare numerosi benefici alla programmazione preoperatoria²⁶⁻²⁹.

Anche in chirurgia plastica metodiche di 3D imaging come la Tc cone-beam sono state impiegate per lo studio di problematiche orali e maxillo-facciali; questo, tra le altre cose, ha permesso un'analisi volumetrica della schisi che consente una sua misurazione in centimetri cubi e una valutazione della sua distribuzione nel contesto dell'osso mascellare¹⁹. L'accuratezza di questo metodo è già stata dimostrata da lavori in letteratura come quello di Jensen et al³⁰ e quello di Shiota et al³¹.

Nonostante l'innovazione tecnologica, non è ancora stato possibile ottenere una standardizzazione della metodica di valutazione sia per i diversi timing in cui sono eseguite le scansioni, sia per la mancanza di un metodo affidabile per la misurazione dell'osso innestato.

Dal 2016, abbiamo introdotto nella nostra pratica clinica l'utilizzo della TC cone-beam per lo studio dei pazienti con schisi. Utilizzando i sistemi di navigazione digitale e la tecnologia della stampa 3D abbiamo migliorato la programmazione preoperatoria dell'innesto osseo al processo alveolare, identificato un nuovo metodo classificativo per la valutazione dell'outcome chirurgico e sviluppato un sistema per valutare la quantità reale di osso integrato in seguito alla procedura, nonché la percentuale di riassorbimento.

Di seguito, presenteremo i risultati preliminari del nostro studio.

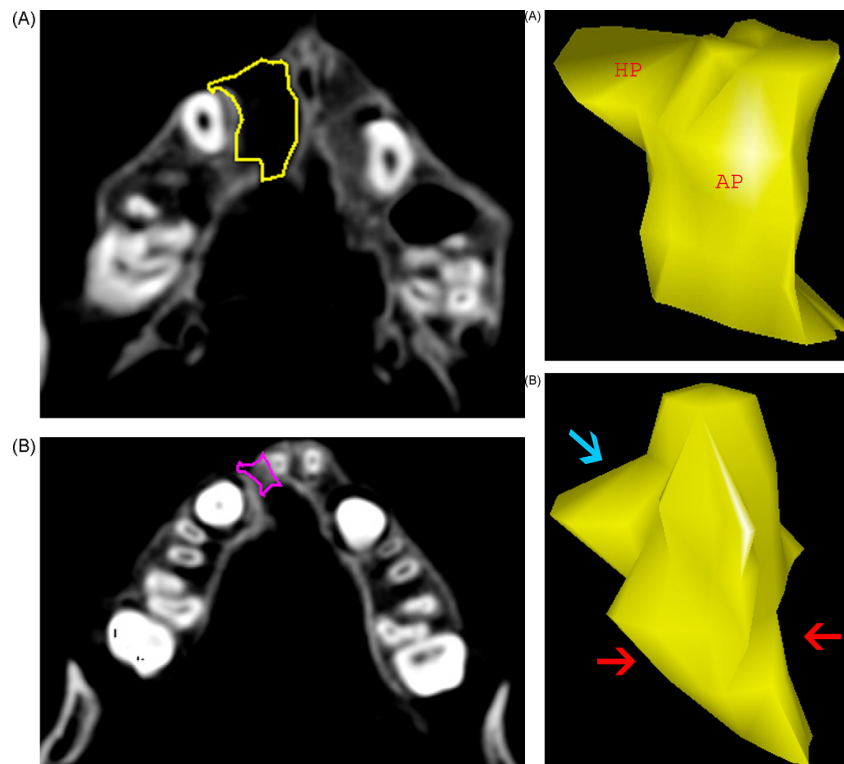


Figura 2: Ricostruzione tridimensionale della schisi mediante TCCB e sistema di navigazione, prima (A) e dopo (B) l'esecuzione dell'innesto osseo¹⁹.

2. MATERIALI E METODI

2.1 POPOLAZIONE DELLO STUDIO

Da settembre 2016 a maggio 2019, 29 pazienti con schisi al processo alveolare monolaterale, non sindromici (18 maschi, 11 femmine), sono stati inclusi in questo studio comparativo, controllato, prospettico.

L'intervento chirurgico d'innesto osseo al processo alveolare secondario è stato eseguito da un singolo chirurgo in capo alla chirurgia plastica. In base al nostro protocollo, è stato svolto a un'età compresa tra gli 8 e i 12 anni, in base alla valutazione radiologica della maturazione della radice del canino (che doveva essere formata per una percentuale compresa tra il 50% e il 75% della sua lunghezza complessiva^{6;16-19}). Il tessuto osseo è stato prelevato a livello della cresta iliaca.

Quando necessario, il paziente è stato sottoposto prima dell'intervento a trattamento ortodontico al fine di ottenere un allineamento ottimale dell'arcata dentaria superiore, la riduzione dello spazio della schisi e la rimozione di eventuali denti o denticoli soprannumerari (qualora questi avessero costituito un ostacolo allo svolgimento della chirurgia).

2.2 STUDIO VOLUMETRICO PREOPERATORIO

Tutti i pazienti hanno eseguito TCCB prima dell'intervento chirurgico (al termine del trattamento ortodontico) e 6 mesi dopo l'intervento chirurgico.

I file DICOM dell'esame preoperatorio sono stati caricati sul programma "DICOM to PRINT" (D2P™; 3D SYSTEMS INC., ROCK HILL, SC), un sistema progettato per la segmentazione di dati ottenuti da scansioni mediche e la creazione di un modello digitale tridimensionale dell'anatomia del paziente.

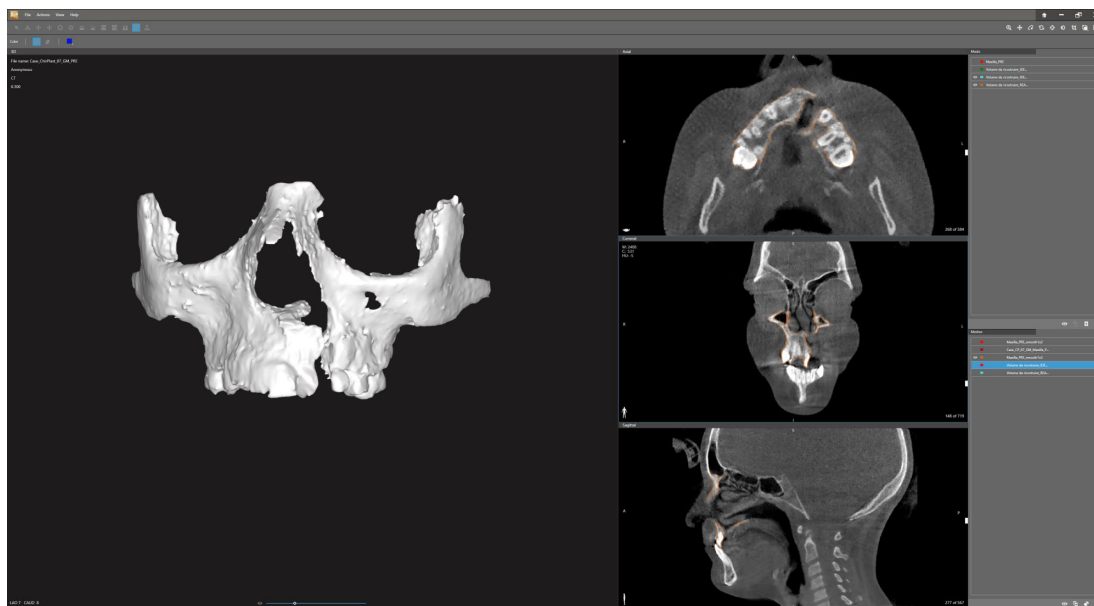


Figura 3: Esempio di ricostruzione tridimensionale dell'anatomia del mascellare mediante il software DICOM to PRINT.

Utilizzando questo software, il difetto anatomico è ricostruito in modo tridimensionale: a questo punto il volume di osso necessario per l'innesto può essere calcolato.

Per ogni paziente sono calcolati due diversi volumi:

1. Il **Volume Funzionale (V_F)**: corrisponde alla quantità di osso necessario per ricostituire il processo alveolare; questo è il volume che serve per garantire il supporto adeguato al dente che sta erompendo o per mettere un impianto.
2. Il **Volume Morfologico (V_M)**: rappresenta la quantità di osso necessaria a ripristinare completamente la normale morfologia dell'osso mascellare arrivando a ricostruire il margine inferiore dell'apertura piriforme.

Al fine di standardizzare la definizione grafica di questi volumi sono stati presi in considerazione diversi punti di riferimento. Il margine superiore del volume funzionale è stabilito a livello dell'apice della radice del dente incisivo adiacente alla

schisi (in genere l'incisivo laterale, più raramente quello centrale); è comunque importante valutare che l'altezza complessiva del volume funzionale sia maggiore o uguale a 9 mm perché questa rappresenta l'altezza minima che serve per inserire, eventualmente, un impianto dentale. Il margine anteriore e quello posteriore sono stabiliti congiungendo i margini dei due segmenti ossei ai lati della schisi; anche in questo caso la distanza tra i due margini è calcolata in modo da essere maggiore o uguale a 6 mm, valore che rappresenta la profondità minima, in senso antero-posteriore, necessaria per posizionare un impianto. I margini del volume morfologico, invece, sono ricreati mediante "mirroring" del lato sano, che viene così preso a modello e rispecchiato sul lato affetto controlaterale; i riferimenti più importanti sono rappresentati dal bordo dell'apertura piriforme superiormente e dal profilo posteriore dell'osso mascellare.

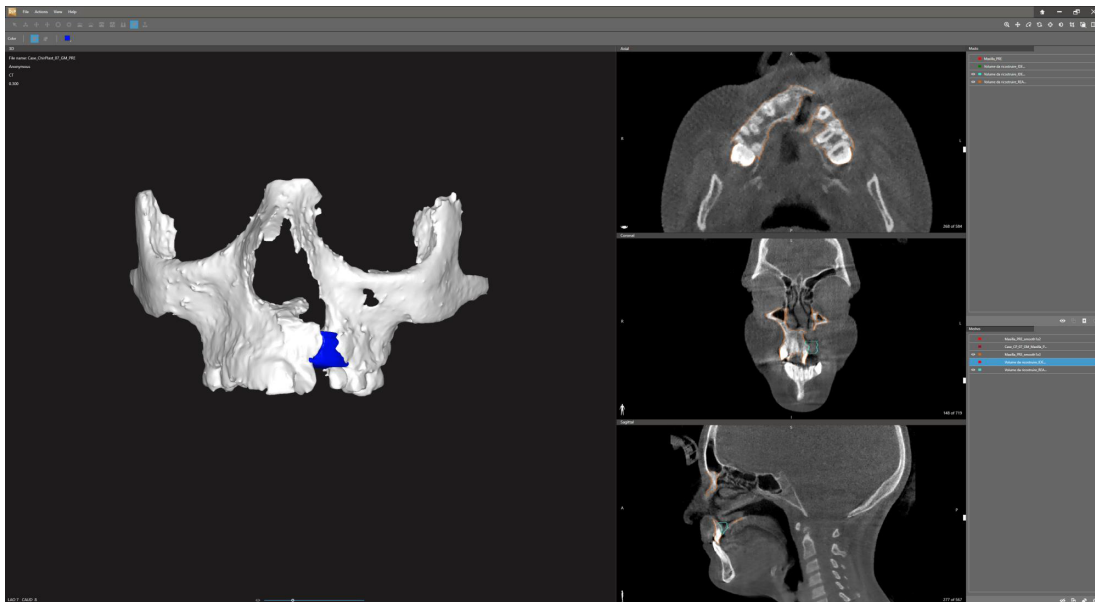


Figura 4: Definizione del Volume Funzionale (riferimento superiore: apice della radice dell'incisivo centrale, per agenesia di quello laterale; riferimento anteriore e posteriore: margini anteriore e posteriore dei monconi ossei adiacenti alla schisi).



Figura 5: Definizione del Volume Morfologico (riferimenti presi per mirroring del lato sano valutando in particolare l'apertura piriforme e le fosse nasali).

La definizione di questi volumi, corrispondenti all'area da innestare, si basa quindi su dei reperi anatomici, in modo da consentire una riproducibilità del metodo utilizzato. Allo stesso tempo però questi reperi sono diversi da soggetto a soggetto; per questo motivo è molto difficile evitare errori ("bias") operatore dipendente. Per limitare questo problema, le valutazioni delle immagini diagnostiche e la definizione dei parametri anatomici per il calcolo dei volumi, sono state eseguite dallo stesso operatore analogamente a quanto fatto in altri lavori in letteratura³¹.

Una volta definiti i volumi, si disegnano due contenitori con una forma simile a un cucchiaino mediante un software di 3D MODELLING (Meshmixer, Autodesk, CA, US), il cui volume interno corrisponde al volume funzionale (V_F) e al volume morfologico (V_M), addizionati di un 50% del volume calcolato per compensare il fisiologico riassorbimento dell'osso innestato. La decisione di aggiungere al volume calcolato una quantità di osso corrispondente al 50% di questo stesso volume, è dipesa dall'analisi dei primi lavori comparsi in letteratura che mirano a compiere una stima del riassorbimento tramite valutazioni della TCCB pre e post operatoria^{19,32}. Il modello virtuale tridimensionale del segmento di mascellare che contiene la schisi al processo alveolare e i contenitori a forma di cucchiaino, sono poi convertiti in file .stl e stampati utilizzando la tecnologia SLA (Form 2, Formlabs) mediante una stampante 3D. Per la stampa del segmento osseo di mascellare è utilizzata una resina

rigida trasparente, mentre per la stampa dei misurini è utilizzata una resina biocompatibile (Dental SG Resin).

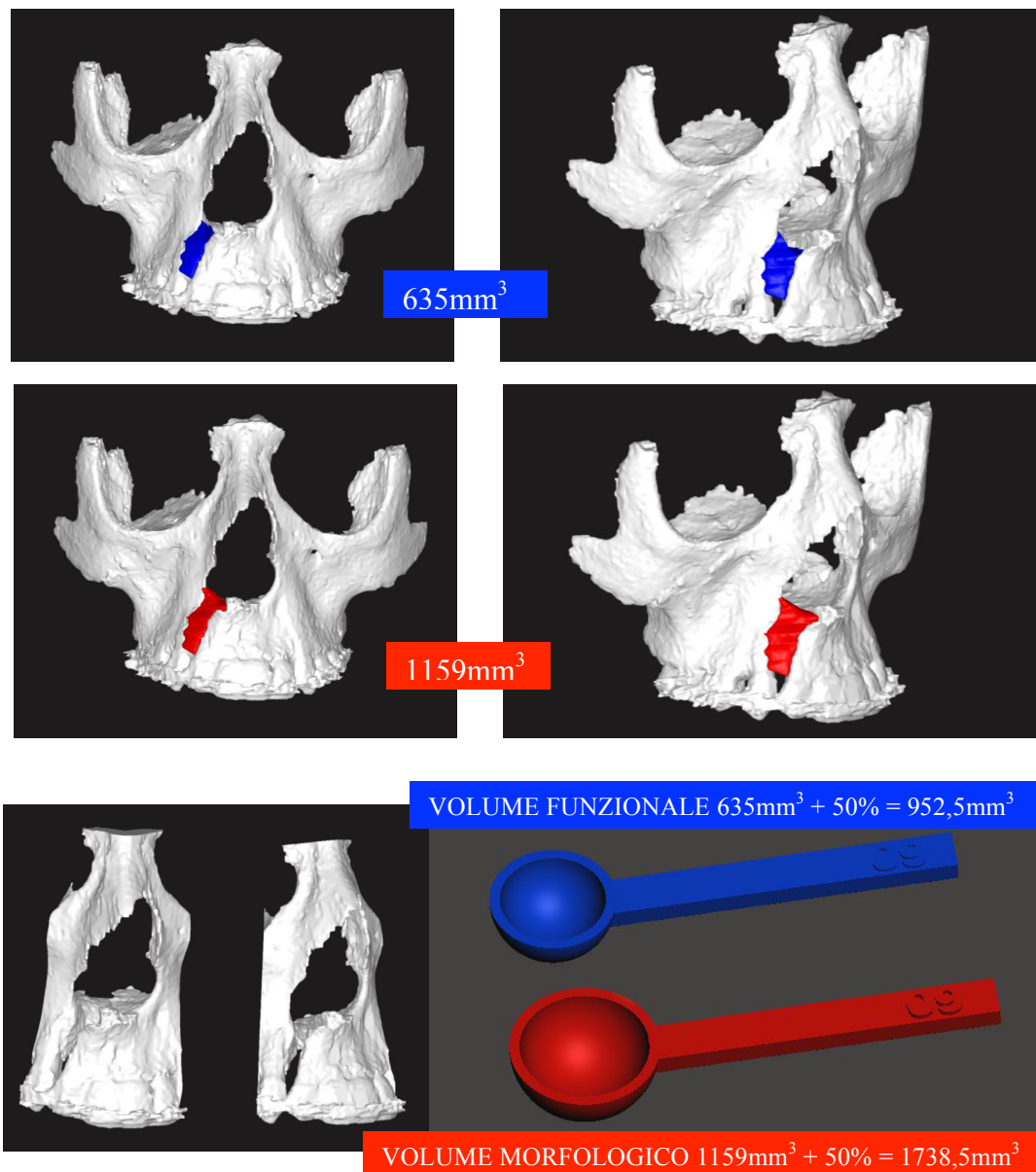


Figura 6: Calcolo del V_F e del V_M ; stampa dei misurini corrispondenti ai volumi calcolati e della riproduzione anatomica del segmento di mascellare con la schisi al processo alveolare.

2.3 PROCEDURA INTRAOPERATORIA

L'intervento chirurgico è eseguito in anestesia generale, con intubazione orotracheale, con il paziente supino.

A livello della schisi è preparata la tasca che conterrà l'innesto osseo; questa fase deve essere molto accurata con l'obiettivo di ottenere una chiusura ermetica

dell'innesto al suo interno, poiché questo rappresenta il punto chiave per il successo dell'intervento.

Come prima cosa si esegue un'incisione a livello dei margini della schisi, al confine tra la gengiva aderente del lato vestibolare e quella della porzione palatale. L'incisione continua lungo il solco gengivale, sulla superficie del legamento parodontale; a livello del segmento minore l'incisione segue il profilo di 3 o 4 elementi dentari, mentre a livello del segmento maggiore un paio di elementi dentari sono in genere sufficienti poiché l'avanzamento del lembo di fibromucosa per la chiusura della tasca, in genere, è a carico del segmento minore. Nella porzione posteriore, l'incisione continua risalendo cranialmente e obliquamente per 8-10 millimetri (back cut). Questa incisione di scarico permetterà l'avanzamento del lembo di fibromucosa. A livello del segmento maggiore, l'incisione di scarico è eseguita solo se necessario (Figura 7B). Una volta completate le incisioni, si procede al sollevamento del lembo mucoperiosteo attraverso uno scollamento sottoperiosteo (Figura 7C). A questo punto si continua l'incisione a livello del lato palatale, in corrispondenza dei margini della schisi residua o della fistola, qualora sia presente (Figura 7D); attraverso uno scollamento sottoperiosteo si sollevano così i lembi di fibromucosa palatale. In questo modo si può liberare la schisi da eventuali tessuti molli, fibrosi, anomali, che ne hanno occupato lo spazio (Figura 7E). Il piano nasale è ispezionato e, qualora siano presenti delle interruzioni, è ricostruito (Figura 7F). Alla fine della procedura, la tasca così preparata per contenere l'innesto presenta la forma di una piramide (Figura 7A), così come descritto in precedenza in un nostro articolo pubblicato nel 2009³⁴. La parete superiore di questa piramide è costituita dal piano nasale, quella inferiore dalla fibromucosa palatale, la parete anteriore è costituita dai lembi mucoperiosteali del versante vestibolare, le pareti laterali sono delimitate dai segmenti ossei ai margini della schisi, infine posteriormente le diverse pareti si congiungono delimitando l'apice della piramide.

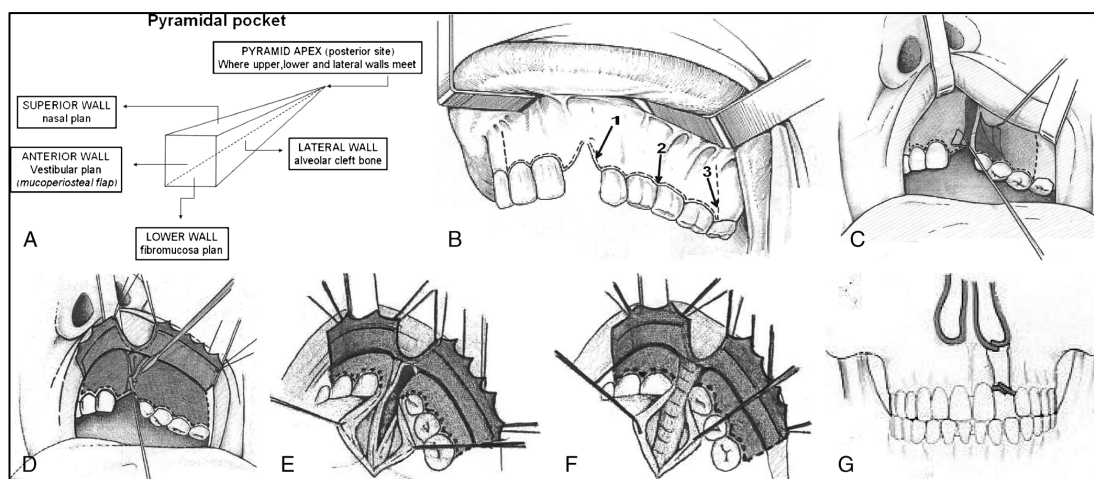


Figura 7: Allestimento della tasca a livello del processo alveolare per l'innesto. A) Illustrazione della tasca piramidale. B) Incisioni vestibolari. C) dissezione dei lembi mucoperiosteali. D) Incisioni palatali. E) Liberazione dello spazio della schisi dai tessuti molli. F) Ricostruzione del piano nasale. G) Illustrazione della tasca a livello del mascellare³⁴.

Contemporaneamente, l'assistente provvede al prelievo dell'innesto d'osso dalla cresta iliaca secondo la tecnica descritta da Tessier³⁵. In genere si mette uno spessore sotto l'anca in modo da esporre le spine iliache anteriori. L'incisione è eseguita nello spazio compreso tra la spina iliaca anteriore superiore e inferiore, circa 1 cm posteriormente al margine palpabile, per una lunghezza di circa 4 cm. S'incidono le strutture fasciali fino a raggiungere il periostio, avendo cura di non ledere le strutture muscolari, vascolari o nervose. Una volta liberato il bordo della cresta iliaca, quest'ultimo è aperto con due lembi a cerniera mediante l'ausilio di un osteotomo. A questo punto, si porta a termine il prelievo della spongiosa che, di volta in volta, è sistemata all'interno del contenitore precedentemente stampato e sterilizzato. In questo modo si minimizza il danno a carico del sito donatore, limitandolo alla quantità realmente necessaria a riempire la schisi. Eseguito il prelievo, i due lembi a cerniera sono richiusi con fili metallici e i tessuti molli ricostituiti.

L'ultima fase prevede che la spongiosa prelevata, sia posta a livello della tasca nel processo alveolare. Infine sono suturati i lembi mucoperiosteali vestibolari e fibromucosi palatini sollevati all'inizio, prestando attenzione che non ci sia tensione.

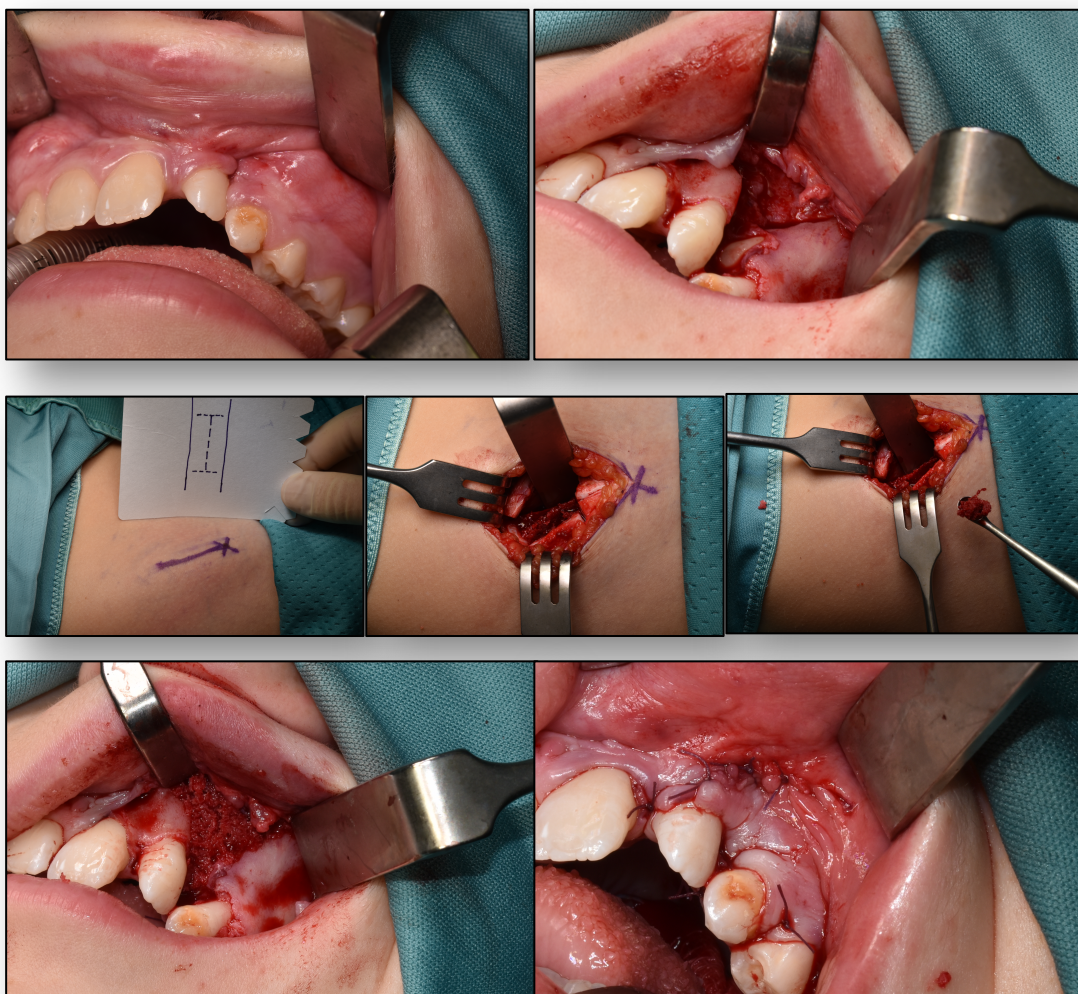


Figura 8: Immagini intraoperatorie. A) Schisi al processo alveolare. B) Allestimento della tasca. C) Prelievo dell'innesto dalla cresta iliaca: disegni delle incisioni. D) Apertura a cerniera del bordo della cresta iliaca. E) Prelievo della spongiosa. F) Inserimento dell'innesto prelevato a livello della tasca. G) Chiusura ermetica dei lembi.

Durante tutti gli interventi chirurgici siamo sempre riusciti a riempire la schisi al processo alveolare con il volume di osso contenuto nel cucchiaino elaborato dal volume morfologico.

In tutti i casi è stato preparato anche il contenitore elaborato dal volume funzionale per averlo a disposizione in sala operatoria; questo avrebbe consentito, infatti, il suo utilizzo, qualora avessimo incontrato difficoltà nell'allestimento della tasca del mascellare e non fosse quindi stato possibile preparare una tasca corrispondente al volume morfologico.

2.4 VALUTAZIONE DIGITALE POSTOPERATORIA

Una seconda TCCB è stata eseguita a 6 mesi dall'intervento chirurgico ed è stata processata mediante lo stesso software "Dicom to Print" per la segmentazione dell'immagine e il "modelling" 3D, con l'obiettivo di ottenere un modello digitale tridimensionale dell'effettivo volume ricostruito (V_R). Questo volume corrisponde alla quantità dell'innesto d'osso completamente integrato a livello del processo alveolare a 6 mesi di distanza dall'intervento chirurgico.

In seguito, i volumi morfologico e funzionale calcolati durante la fase preoperatoria, sono stati virtualmente confrontati con il volume ricostruito, ottenuto dalla TCCB post-operatoria. Ciascun volume preoperatorio è stato allineato a quello postoperatorio utilizzando gli strumenti di registrazione del software open-source CloudCompare (<http://www.danielgm.net/cc/>); questo programma arriva all'identificazione di coppie di punti di repere attraverso un algoritmo che si basa sul punto più vicino iterativo (ICP), al fine di consentire un confronto sia qualitativo sia quantitativo.

Per il confronto qualitativo i due volumi registrati sono stati disposti in sovrapposizione. La valutazione quantitativa, invece, è stata eseguita mediante il calcolo della differenza (misurata in millimetri cubici) tra ciascun volume calcolato durante la fase di studio preoperatoria (V_F e V_M) e quello ricostruito V_R dopo l'intervento chirurgico.



Figura 9: Elaborazione del modello digitale tridimensionale del Volume ricostruito; analisi qualitativa e quantitativa del risultato utilizzando il software open-source CloudCompare.

3. RISULTATI

Abbiamo analizzato i risultati confrontando tre volumi: il volume funzionale (V_F), quello morfologico (V_M) e quello ricostruito (V_R).

Abbiamo identificato come soglia per considerare l'intervento riuscito, il raggiungimento del volume funzionale, sebbene ottenere il volume morfologico rappresenti l'obiettivo ideale.

In 14 pazienti, pari al 48,3% dei casi, abbiamo registrato un risultato soddisfacente corrispondente alla corretta ricostruzione del processo alveolare. In tutti questi pazienti, il volume dell'osso che è stato calcolato con la TCCB postoperatoria era maggiore del V_F con un rapporto medio tra V_R e V_F del 129%.

In altri 5 pazienti (17,2% dei casi) il volume ricostruito è stato maggiore al 90% del volume funzionale.

Per quanto riguarda i restanti 10 casi, 9 hanno riportato un volume ricostruito medio pari al 64% del volume funzionale, mentre 1 è stato un fallimento totale con un volume ricostruito pari al 12% di quello funzionale. Questo paziente ha presentato un'infezione post-operatoria, che è stata probabilmente la ragione del fallimento dell'innesto osseo.

Il rapporto medio tra il V_R e il V_M è stato invece del 49%. In particolare, in 1 paziente, il volume ricostruito è stato lievemente superiore al volume morfologico, mentre in altri 2 pazienti, i 2 volumi sono simili, con un rapporto superiore al 90%.

Per quanto riguarda le complicanze è stato riportato 1 caso di infezione post-operatoria. Non è stata riportata nessun'altra complicanza.

Infine, è stato calcolato il tasso di riassorbimento come la differenza tra il volume che era stato inserito a livello della tasca nel processo alveolare, corrispondente al misurino a forma di cucchiaino disponibile in sala operatoria, e il volume ricostruito. Come abbiamo già riportato siamo sempre riusciti a utilizzare il cucchiaino ricavato dal volume morfologico addizionato del 50%. Dall'analisi dei volumi calcolati abbiamo ricavato un riassorbimento medio del 66% dell'osso spongioso inserito al momento dell'intervento.

| Paziente | Volume funzionale (mm ³) | Volume morfologico (mm ³) | Volume ricostruito (mm ³) | Rapporto Vm/Vr | Rapporto Vf/Vr | Volume misurino morfologico (mm ³) | Volume misurino funzionale (mm ³) | Riassorbimento (mm ³) | Riassorbimento (%) |
|----------|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|----------------|----------------|--|---|-----------------------------------|--------------------|
| 1 | 817 | 1424 | 465 | 33% | 57% | 2077,5 | 1452 | 1612,5 | 78% |
| 2 | 619 | 1352 | 524 | 39% | 85% | 1903,5 | 682,5 | 1379,5 | 72% |
| 3 | 394 | 748 | 791 | 106% | 201% | 1330,5 | 1186,5 | 539,5 | 41% |
| 4 | 246 | 1228 | 333 | 27% | 135% | 1585,5 | 471 | 1252,5 | 79% |
| 5 | 376 | 1221 | 146 | 12% | 39% | 2341,5 | 874,5 | 2195,5 | 94% |
| 6 | 364 | 1058 | 318 | 30% | 87% | 1602 | 750 | 1284 | 80% |
| 7 | 752 | 1860 | 725 | 39% | 96% | 1870,5 | 1122 | 1145,5 | 61% |
| 8 | 419 | 969 | 429 | 44% | 102% | 1738,5 | 952,5 | 1309,5 | 75% |
| 9 | 622 | 1105 | 652 | 59% | 105% | 2365,5 | 829,5 | 1713,5 | 72% |
| 10 | 305 | 1028 | 529 | 51% | 173% | 1372,5 | 624 | 843,5 | 61% |
| 11 | 357 | 1069 | 654 | 61% | 183% | 1714,5 | 903 | 1060,5 | 62% |
| 12 | 829 | 1235 | 503 | 41% | 61% | 1852,5 | 1243,5 | 1349,5 | 73% |
| 13 | 599 | 905 | 576 | 64% | 96% | 1357,5 | 898,5 | 781,5 | 58% |
| 14 | 687 | 1046 | 505 | 48% | 74% | 1569 | 1030,5 | 1064 | 68% |
| 15 | 603 | 1039 | 608 | 59% | 101% | 1558,5 | 904,5 | 950,5 | 61% |
| 16 | 798 | 1337 | 534 | 40% | 67% | 2005,5 | 1197 | 1471,5 | 73% |
| 17 | 469 | 659 | 563 | 85% | 120% | 988,5 | 703,5 | 425,5 | 43% |
| 18 | 676 | 967 | 439 | 45% | 65% | 1450,5 | 1014 | 1011,5 | 70% |
| 19 | 754 | 1129 | 685 | 61% | 91% | 1693,5 | 1131 | 1008,5 | 60% |
| 20 | 868 | 1332 | 102 | 8% | 12% | 1998 | 1302 | 1896 | 95% |
| 21 | 432 | 765 | 487 | 64% | 113% | 1147,5 | 648 | 660,5 | 58% |
| 22 | 458 | 854 | 498 | 58% | 109% | 1281 | 687 | 783 | 61% |
| 23 | 503 | 704 | 610 | 87% | 121% | 1056 | 754,5 | 446 | 42% |
| 24 | 506 | 924 | 463 | 50% | 92% | 1386 | 759 | 923 | 67% |
| 25 | 687 | 1076 | 669 | 62% | 97% | 1614 | 1030,5 | 945 | 59% |
| 26 | 467 | 956 | 548 | 57% | 117% | 1434 | 700,5 | 886 | 62% |
| 27 | 646 | 1005 | 265 | 26% | 41% | 1507,5 | 969 | 1242,5 | 82% |
| 28 | 587 | 985 | 665 | 68% | 113% | 1477,5 | 880,5 | 812,5 | 55% |
| 29 | 509 | 898 | 567 | 63% | 111% | 1347 | 763,5 | 780 | 58% |

Tabella 1: Risultati.

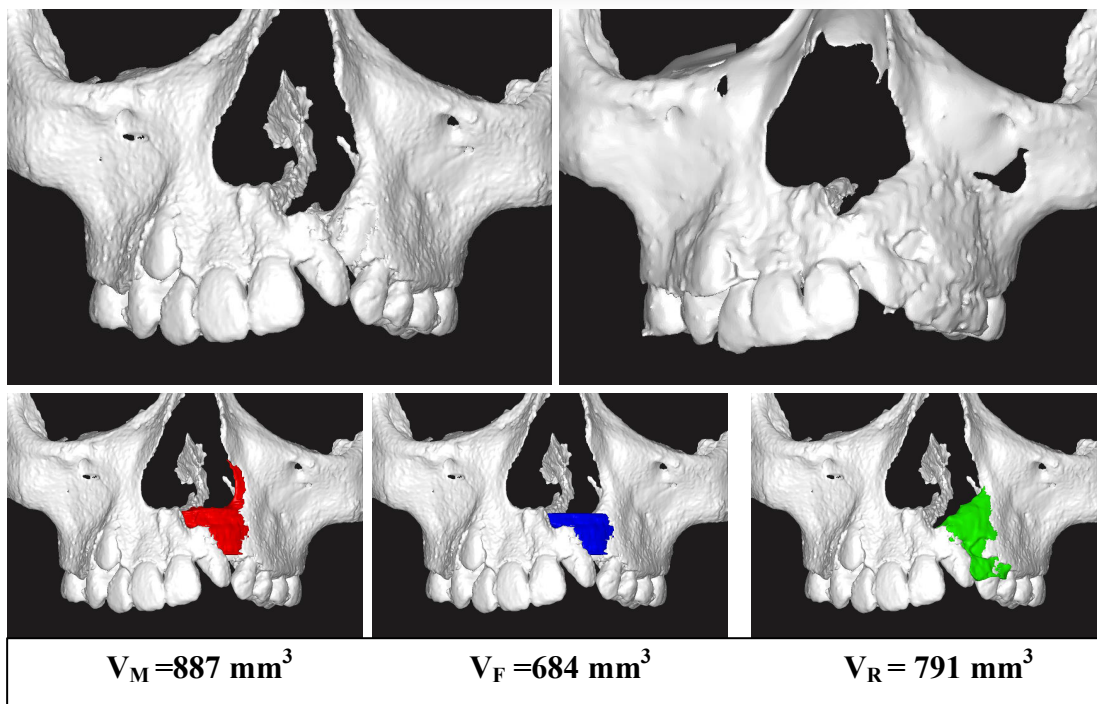


Figura 10: Paziente con schisi al processo alveolare monolaterale sinistra. Immagine intraoperatoria. Ricostruzione TCCB preoperatoria e postoperatoria. Calcolo dei volumi.

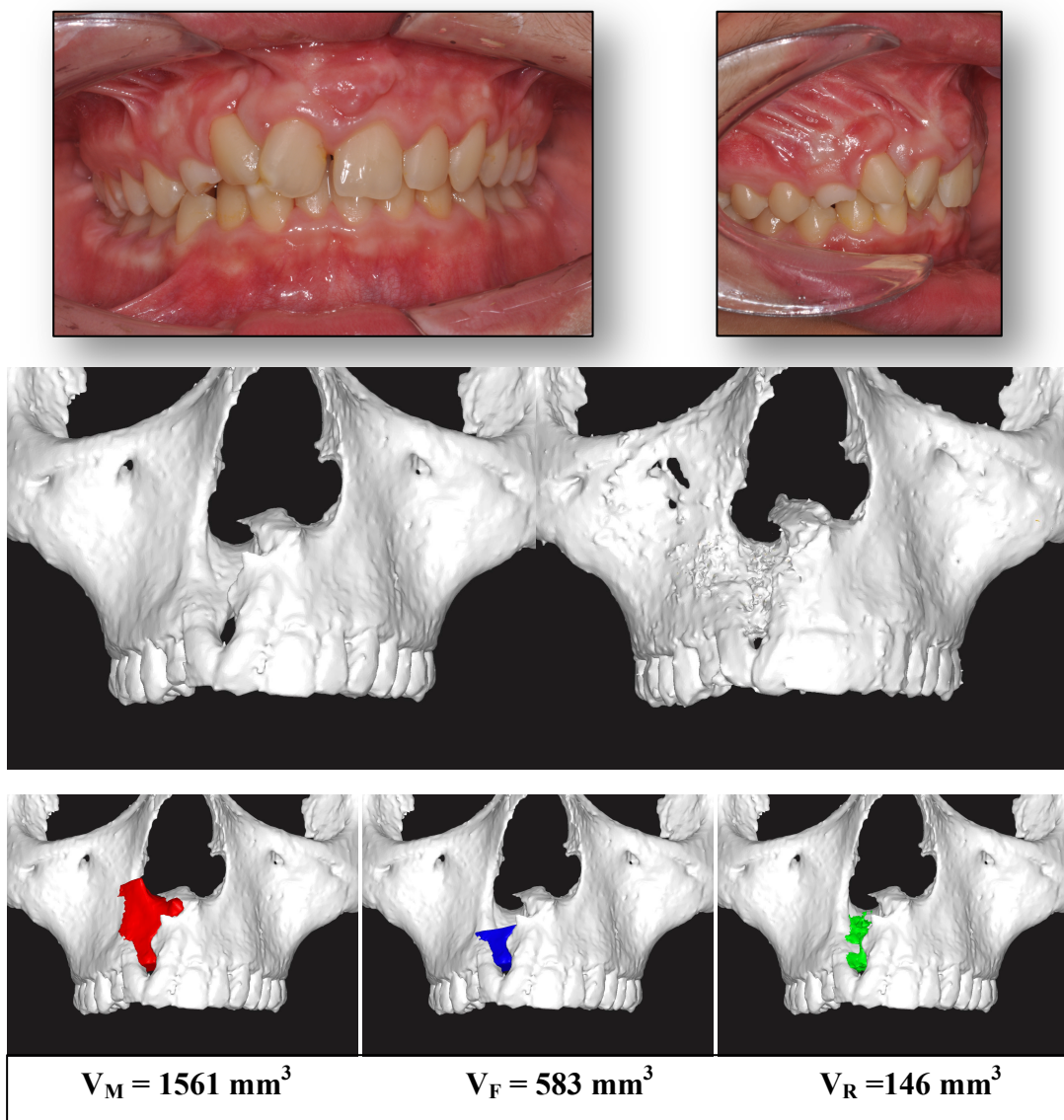


Figura 11: Paziente con schisi incompleta monolaterale al processo alveolare destro. Immagini preoperatorie. Ricostruzione TCCB preoperatoria e postoperatoria. Calcolo dei volumi. Il decorso postoperatorio è stato complicato da una infezione del sito chirurgico.

4. DISCUSSIONE

Le immagini diagnostiche sono essenziali per la valutazione di un innesto osseo al processo alveolare: prima dell'intervento chirurgico, per valutare l'entità della schisi e la quantità di materiale necessario per l'esecuzione della procedura, ma anche dopo, per valutarne il risultato. In passato queste valutazioni sono sempre state fatte utilizzando delle immagini radiologiche bidimensionali e, in particolare, per la valutazione del risultato sono state suggerite alcune scale di valutazione, come quella di Bergland⁹ e quella di Chelsea.

Il sistema di valutazione proposto da Bergland, per la valutazione del successo di un innesto osseo, è tuttora considerato il "gold standard" ed è il metodo di valutazione più frequentemente utilizzato.

Le metodiche di imaging tradizionali presentano numerosi limiti perché possono presentare fenomeni di distorsione o ingrandimento delle immagini o anche sovrapposizione di strutture vicine in base alla prospettiva di acquisizione dell'immagine stessa. Oltre a questo si possono riscontrare problemi per la posizione del paziente e, in genere, consentono l'identificazione di un numero limitato di punti fissi di riferimento²². La conseguenza diretta è che potrebbe essere molto difficile ottenere una valutazione realistica del risultato utilizzando una scala che si basi su di esse.

In seguito all'introduzione della TCCB, la sua diffusione in ambito odontoiatrico e maxillo-facciale è stata piuttosto rapida, con indicazioni via via più estese. Nello specifico la TCCB ha iniziato a essere utilizzata anche per lo studio dei pazienti affetti da labiopalatoschisi e in particolare per analizzare la schisi al processo alveolare, in modo da poter ottenere una ricostruzione tridimensionale esatta del difetto anatomico, utile per la programmazione dell'intervento, e consentire una valutazione più precisa dei risultati. L'accuratezza della TCCB in questo senso è già stata dimostrata da lavori in letteratura come quello di Jensen et al³⁰ e quello di Shirota et al³¹.

Dai primi risultati riportati in letteratura, si evince che la quantità di riassorbimento osseo è significativamente maggiore di quello che è stato finora calcolato mediante le metodiche bidimensionali. La CBCT proprio perché consente la visualizzazione diretta del mascellare in ogni piano, ricostruendo in dettaglio tutte le strutture anatomiche, permette una misurazione precisa del difetto anatomico che può essere quantificata in un volume in millimetri cubici. Alcuni studi hanno quindi eseguito

una stima del riassorbimento mediante un confronto del volume del difetto prima dell'intervento con il difetto residuo, una volta avvenuta l'integrazione ossea. Hanno dimostrato come il riassorbimento osseo sia in realtà almeno un 20% maggiore di quanto riportato dai lavori che eseguono un'analisi con le sole metodiche di imaging bidimensionale²³⁻²⁴.

Sempre grazie alle prime analisi effettuate con la TCCB, è stato evidenziato come il riassorbimento dell'osso innestato non occorra solo nella dimensione verticale (che è quella che può essere analizzata anche dalle metodiche di imaging tradizionali), ma anche e in misura pressoché paritaria lungo la dimensione orizzontale^{19;25}.

Al di là dell'analisi del riassorbimento, bisogna sottolineare come sia di fondamentale importanza una valutazione della dimensione bucco-palatale dell'innesto. Al fine di poter considerare una ricostruzione funzionale, questa deve, infatti, consentire l'eruzione degli elementi dentari o eventualmente l'inserimento di un impianto e per far sì che questo avvenga, il ponte osseo deve presentare uno spessore adeguato. Anche in caso di chirurgia ortognatica, un ponte osseo troppo sottile potrebbe spezzarsi con la mobilizzazione dei segmenti, rendendo più complessa la procedura.

Nonostante i vantaggi della TCCB, non è stato descritto un parametro di valutazione standardizzato e uniforme del risultato dell'innesto osseo al processo alveolare basato su questa tipologia di esame.

L'intento del nostro studio, è quello di proporre una nuova classificazione, semplificata, che si basa sulle immagini ottenute dalla TCCB e dalle ricostruzioni tridimensionali di due volumi in punti prestabiliti. Il volume funzionale rappresenta la quantità di osso necessaria per ricostituire il processo alveolare e garantirne le funzioni già citate. Il volume morfologico corrisponde, invece, al volume di osso che sarebbe necessario per ricostituire la normale morfologia dell'osso mascellare dal lato della schisi, al fine di ottenere un migliore risultato estetico grazie al sostegno che fornirebbe ai tessuti molli del terzo medio del volto e in particolare all'ala nasale. Sia la scala di Bergland sia le sue varianti come quella di Chelsea, presentano molti più sottogruppi, rendendo così più complessa una valutazione dei risultati. A nostro avviso è sufficiente prendere in considerazione solamente questi due parametri perché riteniamo che il raggiungimento del volume funzionale rappresenti il risultato minimo per essere sicuri di garantire la funzione del processo alveolare, mentre il volume morfologico rappresenta il risultato ideale che consentirebbe un ripristino

anche dell'estetica dell'area paranasale del volto.

L'analisi dei risultati è stata condotta confrontando il volume ricostruito con i due volumi di riferimento calcolati in fase preoperatoria. Il volume ricostruito corrisponde al volume dell'innesto osseo che si è integrato alla TCCB di controllo a 6 mesi dall'intervento.

Nel 48,3% dei casi siamo riusciti a raggiungere e superare il volume funzionale, se a questi aggiungiamo il 17,2% dei casi in cui abbiamo ottenuto valori comunque maggiori al 90% del V_F , raggiungiamo un 65,5% di casi in cui possiamo considerare il risultato soddisfacente. Con un 65,5% di risultati positivi ci avviciniamo a quanto riportato in letteratura, seppur ai valori più bassi; questo risultato può essere giustificato proprio dalla metodica di analisi più precisa e basata sulla ricostruzione volumetrica ottenuta dalla TCCB e si allinea agli altri lavori che hanno dimostrato un riassorbimento osseo maggiore, se i risultati sono analizzati in maniera tridimensionale²³⁻²⁴.

In 3 casi abbiamo ottenuto un volume simile a quello morfologico con un ottimo risultato estetico oltre a quello funzionale.

La stampa per ciascun paziente dei due contenitori corrispondenti ai volumi preoperatori calcolati (con l'addizione del 50% del volume per compensare il riassorbimento), consente di avere una valutazione certa della quantità di osso inserito durante l'intervento chirurgico. Siamo sempre riusciti a riempire la tasca allestita a livello della schisi al processo alveolare con la quantità corrispondente al volume morfologico. Così com'è stato dimostrato da Shirota et al.³¹ questa è una conferma dell'elevata affidabilità e precisione della TCCB. L'utilizzo di questi misurini permette, inoltre, al chirurgo di prelevare solamente il tessuto strettamente necessario a riempire il difetto, riducendo così il danno a carico del sito donatore.

Un'altra valutazione innovativa, consentita dall'introduzione di questi misurini, è rappresentata dalla misurazione della percentuale di riassorbimento effettivo. Infatti, conoscendo il volume dell'osseo spongioso utilizzato per riempire la schisi, possiamo andare a calcolare quanto se n'è riassorbito, sottraendo il volume ricostruito a quello inserito durante l'intervento. Una valutazione diretta dalla TCCB postoperatoria non è possibile perché l'osso innestato a livello della schisi, una volta integrato, presenta le stesse caratteristiche di quello del mascellare preesistente. Altri autori^{19;32} hanno stimato il riassorbimento mediante una valutazione indiretta, ovvero attraverso un confronto del difetto residuo dopo 6 mesi o 1 anno dall'intervento con

il difetto della schisi originaria, ottenuti entrambi grazie alla ricostruzione TC. Nessuno di loro, però, misura realmente la quantità di osso inserito in sala operatoria. Abbiamo calcolato un tasso di riassorbimento medio dell'osso innestato pari al 66%, con valori in questo caso superiori a quelli riportati da altri autori^{19;32} che si fermano a circa il 50% di riassorbimento.

5. CONCLUSIONI

Abbiamo riportato i risultati preliminari del nostro studio. La TCCB consente uno studio accurato del difetto anatomico che aiuta il chirurgo durante l'intervento e migliora la valutazione del risultato. Abbiamo proposto un nuovo metodo classificativo dei risultati basato sull'identificazione di due soli volumi, quello funzionale e quello morfologico. L'elaborazione e la stampa di un misurino corrispondente alla quantità di osso da innestare, hanno consentito di prelevare l'esatta quantità di osso necessaria, minimizzando il trauma a carico della sede donatrice. Allo stesso tempo, conoscere il volume di osso inserito a livello del difetto, ha permesso una valutazione diretta del riassorbimento osseo per sottrazione del volume ricostruito.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. Santiago PE, Schuster LA, Levy-Bercowski D. Management of the Alveolar Cleft. *Clin Plast Surg* 41 (2014) 219-232.
2. Cho-Lee GY, Garcia-Diez EM, Nunes RA, et al. Review of secondary alveolar cleft repair. *Ann Maxillofac Surg* 2013;3:46-50
3. Bajaj A, Wongworawat A, Punjabi A. Management of alveolar cleft. *J Craniofac Surg* 2003;6:840-6.
4. Vig KW, Turvey T, Fonseca R. Orthodontic and surgical considerations in bone grafting in the cleft maxilla and palate. In: Turvey T, Vig K, Fonseca R, editors. *Facial cleft and craniosynostosis*. Philadelphia: WB Saunders; 1996, p. 399-411.
5. Randall P, LaRossa D. A short history of prepalatal clefts. In: Berkowitz S, editor. *Cleft lip and palate. Diagnosis and management*. 2nd edition. New York; Springer; 2006. P. 275-9.
6. Da Silva Filho OG, Teles SG, Ozawa TO, et al. Secondary bone graft and eruption of the permanent canine in patients with alveolar clefts: literature review and case report. *Angle Orthod* 2000; 70:174-8.
7. Boyne PJ, Sands NR. Secondary bone grafting of the residual alveolar and palatal clefts. *J Oral Surg* 1972;30:87-92.
8. Boyne PJ, Sands NR. Combined orthodontic-surgical management of residual palate-alveolar cleft defects. *Am J Orthod* 1976;70:21.
9. Bergland O, Semb G, Abyholm FE. Elimination of the residual alveolar cleft by secondary bone grafting and subsequent orthodontic treatment. *Cleft Palate J* 1986;23:175-205.
10. Turvey TA, Vig K, Moriarty J. Delayed bone grafting in the cleft maxilla and palate: a retrospective multidisciplinary analysis. *Am J Orthod* 1984;86:244.
11. Newlands LC. Secondary alveolar bone grafting in cleft lip and palate patients. *Br J Oral Maxillofac Surg* 2000;38:488-91.
12. Cohen M, Polley JW, Figueroa AA. Secondary (intermediate) alveolar bone grafting. *Clin Plast Surg*. 1993 Oct;20(4):691-705.
13. Tan AE, Brogan WF, McComb HK, Henry PJ. Cleft Secondary alveolar bone grafting--five-year periodontal and radiographic evaluation in 100 consecutive cases. *Palate Craniofac J*. 1996 Nov;33(6):513-8.
14. Collins M, James DR, Mars M Alveolar bone grafting: a review of 115 patients. *Eur J Orthod*. 1998 Apr;20(2):115-20.
15. Schultze-Mosgau S, Nkenke E, Schlegel AK, et al. Analysis of bone resorption after secondary alveolar cleft bone grafts before and after canine eruption in connection with orthodontic gap closure or prosthodontic treatment. *J Oral Maxillofac Surg*. 2003 Nov;61(11):1245-8.
16. Lilja J, Kalaaji A, Friede H, Elander A: Combined bone grafting and delayed closure of the hard palate in patients with unilateral cleft lip and palate: facilitation of lateral incisor eruption and evaluation of indicators for timing of the procedure. *Cleft Palate Craniofac J* 37: 98e105, 2000.
17. Williams A, Semb G, Bearn D, Shaw W, Sandy J: Prediction of outcomes of secondary alveolar bone grafting in children born with unilateral cleft lip and palate. *Eur J Orthod* 25: 205e211, 2003.
18. Jia YL, Fu MK, Ma L: Long-term outcome of secondary alveolar bone grafting in patients with various types of cleft. *Br J Oral Maxillofac Surg* 44: 308e312, 2006.
19. Feichtinger M¹, Zemmann W, Mossböck R, Kärcher H. Three-dimensional evaluation of secondary alveolar bone grafting using a 3D- navigation system

- based on computed tomography: a two-year follow-up. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2008 Jun;46(4):278-82.
20. Oberoi S, Chigurupati R, Gill P, Hoffman WY, Vargervik K. Volumetric assessment of secondary alveolar bone grafting using cone beam computed tomography. *Cleft Palate Craniofac J.* 2009 Sep;46(5):503-11.
 21. Hynes PJ, Earley MJ. Assessment of secondary alveolar bone grafting using a modification of Bergland grading system. *Br J Plast Surg.* 2003 Oct;56(7):630-6.
 22. Waitzman AA, Posnick JC, Armstrong DC, et al. Craniofacial skeletal measurements based on computed tomography: part 1. Accuracy and reproducibility. *Cleft Palate Craniofac J.* 1992;29:112-117.
 23. Rosenstein SW, Long Jr RE, Dado DV, et al. Comparison of 2-D calculations from periapical and occlusal radiographs versus 3-D calculations from CAT scans in determining bone support for cleft-adjacent teeth following early alveolar bone grafts. *Cleft Palate Craniofac J* 1997;34:199–205.
 24. Dado DV, Rosenstein SW, Alder ME, Kernahan DA. Long-term assessment of early alveolar bone grafts using three-dimensional computer-assisted tomography: a pilot study. *Plast Reconstr Surg* 1997;99:1840–5.
 25. Tai CC, Sutherland IS, McFadden L. Prospective analysis of secondary alveolar bone grafting using computed tomography scans. *J Oral Maxillofac Surg.* 2000;58:1241-1249.
 26. F. Ricotta, L. Cencenelli, S. Battaglia, B. Bortolani, G. Savastio, E. Marcelli, C. Marchetti, A. Tarsitano. “Navigation-guided resection of maxillary tumors: Can a new volumetric virtual planning method improve outcomes in terms of control of resection margins?” *J Craniomaxillofac Surg.* 2018 Dec;46(12):2240-2247.
 27. G. Badiali, E. Marcelli, B. Bortolani, C. Marchetti, L. Cencenelli. “An average 3D virtual human skull for a template-assisted maxillofacial surgery”. *Int J Artif Organs* 2019, Vol. 42(10) 566–574. (Casa editrice: SAGE Publications Ltd; Luogo di pubblicazione: London, England; ISSN 0391-3988) [IF 2017 1,133].
 28. L. Bianchi, R. Schiavina, U. Barbaresi, A. Angiolini, C.V. Pultrone, F. Manferrari, B. Bortolani, L. Cencenelli, M. Borghesi, F. Chessa, E. Sessagesimi, C. Gaudiano, E. Marcelli, E. Brunocilla. “3D Reconstruction and physical renal model to improve percutaneous puncture during PNL.” *Int Braz J Urol.* 2019 May 20;45
 29. R. Schiavina, L. Bianchi, M. Borghesi, F. Chessa, L. Cencenelli, E. Marcelli, E. Brunocilla. “Three-dimensional digital reconstruction of renal model to guide preoperative planning of robot-assisted partial nephrectomy. *Int J Urol.* 2019 Sep;26(9):931-932.
 30. Jensen J, Kragkov J, Wenzel A, Sindet-Pedersen S. Volumetry of bone grafts by three-dimensional computed tomographic reconstruction: an animal study in the minipig. *Dentomaxillofac Radiol* 1998;27:41-4.
 31. Shirota T, Kurabayashi H, Ogura H, et al. Analysis of bone volume using computer simulation system for secondary bone graft in alveolar cleft. *Int. J. Oral Maxillofac Surg.* 2010;39:904-908.
 32. Feichtinger M, Mossbock R, Karcher H. Assessment of bone resorption after secondary alveolar bone grafting using three-dimensional computed tomography: a three year study. *Cleft Palate Craniofac J.* 2007; 44: 142-148.
 33. Honma K, Kobayashi T, Nakajima T, Hayasi T. Computed tomographic evaluation of bone formation after secondary bone grafting of alveolar clefts. *J Oral Maxillofac Surg* 1999; 57: 1209-13.
 34. Morseilli PG, Giuliani R, Pinto V, et al. Treatment of alveolar cleft performing a pyramidal pocket and an autologous bone grafting. *J Craniofac Surg.* 2009

Sep;20(5):1566-70.

35. Tessier P, Kawamoto H, Matthews D, et al. Taking bone grafts from the anterior an posterior ilium-tools and techniques: II. A 6800-case experience in maxillofacial and craniofacial surgery. *Plast Reconstr Surg* 2005;116:25S-37S.